

УДК 617.7

## Показатели теплообмена глаз пациентов с терминальной неоваскулярной глаукомой при пролиферативной диабетической ретинопатии

О. С. Задорожный, канд. мед. наук; О. В. Гузун, канд. мед. наук; Т. Б. Кустрин, канд. мед. наук;  
А. Р. Король, д-р мед. наук; В. А. Науменко, д-р мед. наук, профессор;  
Н. В. Пасечникова, д-р мед. наук, профессор, член-кор. НАМН Украины

ГУ «Институт глазных болезней и тканевой терапии им. В.П.Филатова НАМН Украины»; Одесса (Украина)

E-mail: zadoroleg2@gmail.com

*Особенности тепловых процессов в организме больных сахарным диабетом в настоящее время остаются малоизученными.*

**Цель.** Изучить показатели температуры и плотности теплового потока (ТП) поверхности глаз пациентов с неоваскулярной глаукомой, развившейся на фоне пролиферативной диабетической ретинопатии.

**Материал и методы.** Работа представляет собой открытое пилотное исследование. Под наблюдением находились 25 больных (50 глаз) с пролиферативной стадией диабетической ретинопатии обоих глаз. У всех больных на одном глазу был установлен диагноз терминальной неоваскулярной глаукомы и проводилось три сеанса транссклеральной контактно-компрессионной (ТСКК) лазерной циклокоагуляции. Всем больным перед проведением лазерного лечения, а также через 1 месяц были выполнены следующие исследования обоих глаз: определение остроты зрения, измерение внутриглазного давления (ВГД), термометрия наружной поверхности роговицы, измерение плотности ТП глаза.

**Результаты.** Температура и плотность ТП на поверхности роговицы глаза с повышенным ВГД в среднем составили  $33,9 \pm 0,9^\circ\text{C}$  и  $5,8 \pm 1,6 \text{ мВт/см}^2$ , соответственно, и оказались ниже по сравнению с парным интактным глазом с нормальным ВГД ( $34,4 \pm 1,0^\circ\text{C}$  ( $p=0,08$ ) и  $6,9 \pm 1,4 \text{ мВт/см}^2$  ( $p=0,02$ )). Через 1 месяц после курса лечения ВГД глаз с глаукомой снизилось в среднем с  $36,3 \pm 5,4$  до  $25,8 \pm 4,6 \text{ мм рт.ст.}$  ( $p=0,000$ ), температура наружной поверхности глаз с глаукомой повысилась до  $34,5 \pm 0,9^\circ\text{C}$  ( $p=0,06$ ), плотность ТП глаз с глаукомой возросла до  $8,3 \pm 1,99 \text{ мВт/см}^2$  ( $p=0,000$ ).

**Выводы.** У больных терминальной неоваскулярной глаукомой наблюдается асимметрия показателей теплообмена парных глаз, а также после проведения ТСКК лазерной циклокоагуляции при снижении ВГД происходит повышение плотности ТП на поверхности глаза, что вероятно, обусловлено увеличением внутриглазного температурного градиента на фоне улучшения гемодинамики глаза.

### Ключевые слова:

температура наружной поверхности глаза, плотность теплового потока, диабетическая ретинопатия, терминальная неоваскулярная глаукома

**Актуальность.** Процессы теплообмена в биологических объектах (клетка, орган, организм) происходят в рамках законов термодинамики, которая изучает общие закономерности превращения и передачи энергии. Биологические объекты можно рассматривать как открытые термодинамические системы, которые не находятся в состоянии теплового равновесия и в которых всегда происходит перенос теплоты [1, 2, 3]. Для передачи теплоты необходимо существование температурного градиента, который является условием возникновения теплового потока (ТП). ТП в отличие от температуры направлен в сторону уменьшения температуры. Для количественной характеристики интенсивности распространения теплоты используется понятие плотности ТП. Плотностью ТП считается количество теплоты, проходящее в единицу времени

через единицу площади изотермической поверхности [3].

Существование температурного градиента между наружными и внутренними отделами глаза ранее было подтверждено в экспериментальных работах [4]. В наших предыдущих исследованиях были представлены первые результаты прямых измерений плотности ТП на поверхности глаз у здоровых лиц, и была обнаружена зависимость плотности ТП глаз от возраста человека [5]. Наши предварительные данные свидетельствуют о том, что показатели плотности ТП глаз пациентов с диабетической ретинопатией отличаются в зависимости от стадии процесса. При этом значимых разли-

чий температуры роговицы у пациентов с различными стадиями диабетической ретинопатии обнаружено не было. Была отмечена также взаимосвязь плотности ТП глаз с показателями его кровенаполнения [6]. Тем не менее, особенности тепловых процессов в организме больных сахарным диабетом в настоящее время остаются малоизученными [7].

**Цель.** Изучить показатели температуры и плотности теплового потока поверхности глаз у пациентов с неоваскулярной глаукомой, развившейся на фоне пролиферативной диабетической ретинопатии.

#### Материал и методы

Работа представляет собой открытое пилотное исследование. Проведение исследования было одобрено биоэтическим комитетом ГУ «Институт глазных болезней и тканевой терапии им. В. П. Филатова НАМН Украины». Все исследуемые подписывали информированное согласие.

Под наблюдением находились 25 больных (50 глаз) с пролиферативной стадией диабетической ретинопатии обоих глаз. У всех больных на одном глазу был установлен диагноз терминальной неоваскулярной глаукомы. Возраст исследуемых лиц в среднем составил  $54 \pm 9,1$  года (от 32 до 64 лет). В исследование не включались пациенты, которым проводилась интравитреальная антиангиогенная терапия или витрэктомия. У всех больных ранее (в сроки более 1 месяца до начала исследования) была выполнена передняя панретинальная лазерная коагуляция, которая не привела к полному регрессу новообразованных сосудов и стабилизации внутриглазного давления. Все больные с целью снижения внутриглазного давления в исследуемый глаз получали инстилляции бримонидина, ингибитора карбоангидразы и бета-блокаторов дважды в сутки. В парный глаз инстилляции лекарственных средств не проводилось. Всем больным были выполнены следующие исследования обоих глаз: определение остроты зрения, измерение внутриглазного давления (ВГД), термометрия наружной поверхности роговицы, измерение плотности ТП глаза.

Для измерения плотности ТП и температуры наружной поверхности глаза применялось термоэлектрическое устройство, которое было разработано Институтом термоэлектричества НАН и МОН Украины в рамках договора о сотрудничестве с ГУ "Институт глазных болезней и тканевой терапии им. В.П. Филатова НАМН Украины" [5]. Исследование проводилось в помещении со стабильными показателями окружающей среды. Контролировалась температура воздуха, которая в ходе исследования составила  $22,5 \pm 1,7$  °С. Поддерживались условия с минимальной скоростью движения воздуха. Перед проведением исследования пациенты адаптировались к температуре помещения 15 минут. Применялась эпibuльбарная анестезия в виде однократной инстилляции 0,5% раствора проксиметакаина гидрохлорида (ALCAINE®, SA Alcon-Couvreur NV, Puurs, Belgium). Регистрация температу-

ры и плотности ТП проводилась через 15 минут после применения капель. Во время исследования испытуемый находился в положении сидя за щелевой лампой. Сенсор ТП, установленный в стандартное крепление для контактных призм апланационного тонометра Гольдмана, во всех случаях контактировал с центральной зоной роговицы. Выполнялось не менее трех измерений каждого глаза в режиме реального времени. Термометрия наружной поверхности роговицы, измерение плотности ТП глаза, измерение внутриглазного давления выполнялись перед проведением лазерного лечения, а также через 1 месяц.

Проводилось три сеанса транссклеральной контактно-компрессионной (ТСКК) лазерной коагуляции цилиарного тела с применением инфракрасного Nd лазера с длиной волны 1064 нм с полимерным моноволоконным кварцевым зондом и наконечником диаметром 600 мкм, с помощью которого осуществлялась дозированная компрессия склеры. Энергия лазерного излучения в импульсе составила 0,8 Дж [8]. Сеансы ТСКК лазерной коагуляции цилиарного тела выполнялись через сутки.

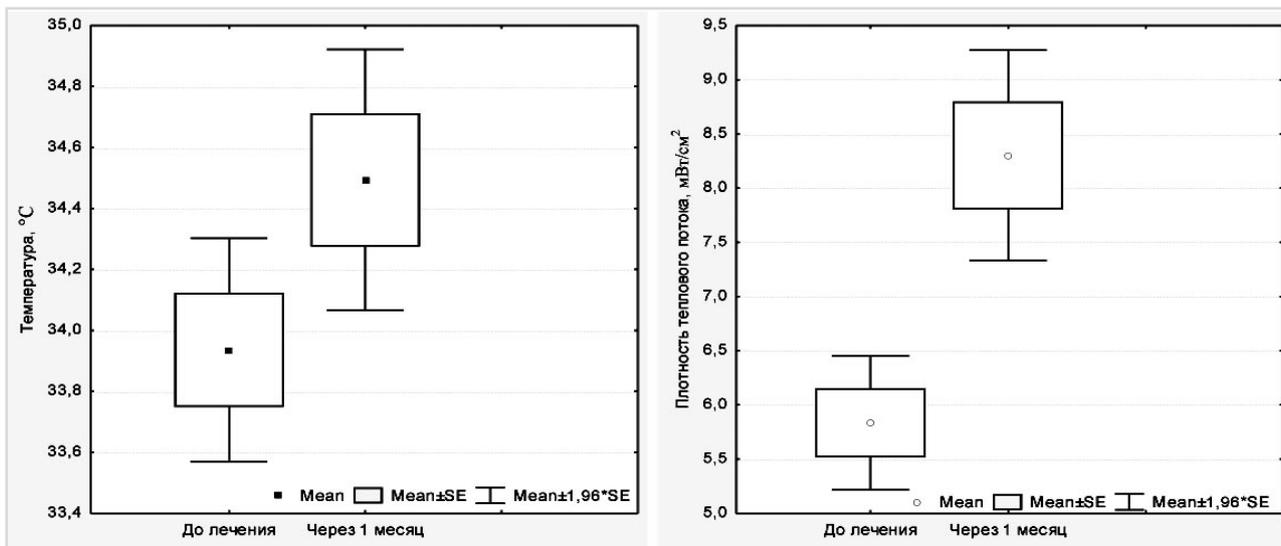
Статистический анализ проводился с использованием пакета StatSoft® Statistica 10.0. Для оценки количественных показателей рассчитывали средние значения (M), стандартное отклонение выборки (SD). Анализ динамики показателей (ВГД, температуры наружной поверхности роговицы, плотности ТП глаза) у пациентов после лечения проводили с использованием t-критерия Стьюдента. Различия сравниваемых средних значений выборок считали значимым при величине  $p < 0,05$ .

#### Результаты

Острота зрения во всех случаях для пораженных глаз соответствовала светоощущению с неправильной проекцией света. ВГД глаз с глаукомой было зафиксировано в среднем на уровне  $36,3 \pm 5,4$  мм рт.ст., а парных глаз  $18,3 \pm 2,8$  мм рт.ст. ( $p = 0,000$ ). Температура наружной поверхности глаз с глаукомой в среднем составила  $33,9 \pm 0,9$ °С, а парных глаз –  $34,4 \pm 1,0$ °С ( $p = 0,08$ ). Плотность ТП глаз с глаукомой составила в среднем  $5,8 \pm 1,6$  мВт/см<sup>2</sup>, а парных глаз –  $6,9 \pm 1,4$  мВт/см<sup>2</sup> ( $p = 0,02$ )

Через 1 месяц после курса лечения ВГД глаз с глаукомой снизилось в среднем с  $36,3 \pm 5,4$  до  $25,8 \pm 4,6$  мм рт.ст., ( $p = 0,000$ ), т.е. на 10,5 мм рт.ст. (на 29 %). При этом ВГД парных глаз составило  $19,1 \pm 2,4$  мм рт.ст. Температура наружной поверхности глаз с глаукомой в среднем составила  $34,5 \pm 0,9$ °С, а парных глаз –  $34,2 \pm 0,7$ °С ( $p = 0,38$ ). Плотность ТП глаз с глаукомой составила в среднем  $8,3 \pm 1,99$  мВт/см<sup>2</sup>, а парных глаз –  $7,03 \pm 1,9$  мВт/см<sup>2</sup> ( $p = 0,07$ ). Динамика температуры и плотности ТП наружной поверхности роговицы глаз с глаукомой после проведения ТСКК лазерной циклокоагуляции представлена на рисунке 1.

При проведении исследования плотности ТП травм роговицы и других осложнений не наблюдалось.



**Рис.1.** Динамика температуры и плотности ТП наружной поверхности роговицы глаз с глаукомой, развившейся на фоне диабетической ретинопатии, через 1 месяц после проведения ТСКК лазерной циклокоагуляции.

### Обсуждение

В результате проведенного исследования была обнаружена асимметрия между показателями теплообмена глаз с терминальной неоваскулярной глаукомой и аналогичными показателями парных глаз с нормальным внутриглазным давлением. В глазах с глаукомой и высоким ВГД были выявлены более низкие показатели температуры и плотности ТП наружной поверхности глаз, по сравнению с парными глазами. Эти наблюдения могут быть обусловлены в первую очередь резким нарушением гемодинамики глаз, вызванным высоким ВГД, что в результате приводит к изменению внутриглазного температурного градиента. Ранее в эксперименте уже было отмечено влияние повышенного ВГД на гемодинамику глаза и температуру наружной поверхности глаза [9]. Кроме того, высказанное нами ранее предположение о том, что применение некоторых глазных капель для снижения ВГД может приводить к снижению температуры наружной поверхности глаза [10], в настоящее время нашло подтверждение в исследовании Konieczka К. С соавторами [11].

Если оценивать показатели теплообмена в динамике проводимого лечения, можно отметить тенденцию к повышению температуры наружной поверхности глаз с глаукомой через 1 месяц после проведения ТСКК лазерной циклокоагуляции, что согласуется с нашими предыдущими исследованиями [10]. Было отмечено также значимое увеличение плотности ТП глаза на фоне снижения уровня ВГД, что свидетельствует о том, что произошло увеличение внутриглазного температурного градиента. Поскольку известно, что с увеличением перепада температур, т.е. с возрастанием температурного градиента, увеличивается и плотность ТП [3]. Таким образом, показатели плотности ТП глаза (по сравнению с температурой роговицы) могут более по-

лно отражать состояние теплообмена глаза [6]. По всей видимости, рост показателей теплообмена глаз с терминальной неоваскулярной глаукомой после проведения ТСКК лазерной циклокоагуляции обусловлено улучшением гемодинамики глаза на фоне снижения ВГД. Так, ранее уже были описаны наблюдения о повышении температуры наружной поверхности роговицы после хирургического лечения глаукомы [12,13].

### Выводы

1. У больных терминальной неоваскулярной глаукомой наблюдается асимметрия показателей теплообмена парных глаз. Так, температура и плотность теплового потока на поверхности роговицы глаза с повышенным внутриглазным давлением в среднем составили 33,9°C и 5,8 мВт/см<sup>2</sup> соответственно и оказались ниже по сравнению с парным интактным глазом с нормальным внутриглазным давлением (34,4°C и 6,9 мВт/см<sup>2</sup>).

2. У больных терминальной неоваскулярной глаукомой после проведения транссклеральной лазерной коагуляции цилиарного тела при снижении внутриглазного давления происходит повышение плотности теплового потока на поверхности глаза, что вероятно, обусловлено увеличением внутриглазного температурного градиента на фоне улучшения гемодинамики глаза.

### Литература

1. **Саввин В.Н.** Использование подходов термодинамики при оценке состояния живой системы / В.Н. Саввин, О.Л. Короткова, Г.П. Шишкин // Вятский медицинский вестник – 2017. – № 2. – С. 40-44.
2. **Lucia U.** Bioengineering thermodynamics of biological cells / U. Lucia // Theor. Biol. Med. Model. – 2015. – Vol. 12:29.
3. Техническая термодинамика и теплопередача. Учебник для академического бакалавриата / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов, Е. В. Стефанюк. –М.: Юрайт, 2019. – 454 с.

4. **Schwartz B.** Temperature gradients in the rabbit eye / B. Schwartz, M.R. Feller // Invest. Ophthalmol. – 1962. – Vol. 1(4). – P. 513-521.
5. **Анатычук Л.И.** Термоэлектрическое устройство для офтальмотеплометрии и особенности регистрация плотности теплового потока глаза человека / Л.И. Анатычук, Н.В. Пасечникова, В.А. Науменко, О.С. Задорожний, Н.В. Гаврилюк, Р.Р. Кобылянский // Офтальмол. журн. – 2019. – № 3. – С. 45-51.
6. **Анатычук Л.И.** Температура и плотность теплового потока наружной поверхности глаз больных диабетической ретинопатией (пилотное исследование) / Л.И. Анатычук, Н.В. Пасечникова, В.А. Науменко, О.С. Задорожний, Н.И. Храменко, Р.Э. Назаретян, Р.Р. Кобылянский // Офтальмол. журн. – № 6. – 2019. – С. 3-5.
7. **Kenny G.P.** Body temperature regulation in diabetes / G.P. Kenny, R.J. Sigal, R. McGinn // Temperature – 2016. – Vol. 3(1). – P. 119-145.
8. **Чечин П.П.** Эффективность неодимовой транссклеральной лазерциклокоагуляции и изменение кровообращения глаза у больных с абсолютной глаукомой / П.П. Чечин, О.В. Гузун, Н.И. Храменко и др. // Офтальмол. журн. – 2018. – № 2. – С. 34-39.
9. **Auker C.R.** Choroidal blood flow. I. Ocular tissue temperature as a measure of flow / C.R. Auker, L.M. Parver, S. Doyle, et al. // Arch. Ophthalmol. – 1982. – Vol. 100. – P. 1323-1326.
10. **Задорожний О.С.** Дистанционная термография наружной поверхности глаза у пациентов с абсолютной глаукомой при проведении транссклеральной лазерной коагуляции цилиарного тела (пилотное исследование) / О.С. Задорожний, О.В. Гузун, А.Ю. Братишко, Т.Б. Кустрин, И.О. Насинник, А.Р. Король // Офтальмол. журн. – 2018. – № 2. – С. 23-28.
11. **Konieczka K.** Effects of the glaucoma drugs latanoprost and brimonidine on corneal temperature / K. Konieczka, S. Koch, D. Hauenstein, T.N. Chackathayil, T. Binggeli, A. Schoetzau, J. Flammer // Trans. Vis. Sci. Tech. – 2019. – Vol. 8(3):47. doi: 10.1167/tvst.8.3.47.
12. **Fujishima H.** Quantitative evaluation of postsurgical inflammation by infrared radiation thermometer and laser flarecell meter / H. Fujishima, I. Toda, Y. Yagi, et al. // J. Cataract Refract. Surg. – 1994. – Vol. 20. – P. 451-454.
13. **Galassi F.** Retrobulbar hemodynamics and corneal surface temperature in glaucoma surgery / F. Galassi, B. Giambene, A. Corvi, et al. // Int. Ophthalmol. – 2008. – Vol. 28. – P. 399-405.

*Автори заявляють об відсутності конфлікту інтересів, які могли б впливати на їхню думку щодо предмета або матеріалів, описаних у цій статті.*

Поступила 30.12.2019

## Показники теплообміну очей пацієнтів з термінальною неоваскулярною глаукомою при проліферативній діабетичній ретинопатії

Задорожний О.С., Гузун О.В., Кустрин Т.Б., Король А.Р., Науменко В.О., Пасечникова Н.В.

ДУ «Інститут очних хвороб і тканинної терапії ім. В.П. Філатова НАМН України; Одеса (Україна)

*Особливості теплових процесів в організмі хворих на цукровий діабет в даний час залишаються маловивченими.*

**Мета.** Вивчити показники температури і густини теплового потоку (ТП) поверхні очей у пацієнтів з неоваскулярною глаукомою, що розвилася на тлі проліферативної діабетичної ретинопатії.

**Матеріал і методи.** Робота являє собою відкрите пілотне дослідження. Під спостереженням знаходилися 25 хворих (50 очей) з проліферативною стадією діабетичної ретинопатії обох очей. У всіх хворих на одному оці був встановлений діагноз термінальної неоваскулярної глаукоми і проводилося три сеанси транссклеральної контактної-компресійної (ТСКК) лазерної циклокоагуляції. Всім хворим перед проведенням лазерного лікування, а також через 1 місяць були виконані наступні дослідження обох очей: визначення гостроти зору, вимірювання внутрішньоочного тиску (ВОТ), термометрія зовнішньої поверхні рогівки, вимірювання густини ТП ока.

**Результати.** Температура і густина ТП на поверхні рогівки ока з підвищеним ВОТ в середньому склали  $33,9 \pm 0,9$  °C і  $5,8 \pm 1,6$  мВт/см<sup>2</sup>, відповідно, і виявилися нижчими в порівнянні з парним інтактним оком з нормальним ВОТ ( $34,4 \pm 1,0$  °C ( $p=0,08$ ) і  $6,9 \pm 1,4$  мВт/см<sup>2</sup> ( $p=0,02$ )). Через 1 місяць після курсу лікування ВОТ очей з глаукомою знизився в середньому з  $36,3 \pm 5,4$  мм рт.ст. до  $25,8 \pm 4,6$  мм рт.ст. ( $p=0,000$ ), температура зовнішньої поверхні очей з глаукомою підвищилася до  $34,5 \pm 0,9$  °C ( $p=0,06$ ), густина ТП в очах з глаукомою зросла до  $8,3 \pm 1,99$  мВт/см<sup>2</sup> ( $p=0,000$ ).

**Висновки.** У хворих на термінальну неоваскулярну глаукому спостерігається асиметрія показників теплообміну парних очей, а також після проведення ТСКК лазерної циклокоагуляції при зниженні ВОТ відбувається підвищення густини ТП на поверхні ока, що ймовірно обумовлено збільшенням внутрішньоочного температурного градієнта на тлі поліпшення гемодинаміки ока.

**Ключові слова:** температура зовнішньої поверхні ока, густина теплового потоку, діабетична ретинопатія, термінальна неоваскулярна глаукома